

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales**



**GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE  
EMPRESAS**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**

**TÍTULO:** Derivados financieros en el entorno de las nuevas tecnologías: FinTech, Blockchain, Criptomonedas, Smart contracts e Inteligencia Artificial

**AUTOR:** Alejandro José López Meilán

**TUTORES:** Dr. Roberto Ferreiro Pérez y Dra. Raquel Balbás Aparicio

**CURSO ACADÉMICO:** 2019/2020

**CONVOCATORIA:** Enero

# Índice

<b>I. RESUMEN</b>	2
<b>II. INTRODUCCIÓN</b>	3
<b>III. OBJETIVOS</b>	4
1. Objetivo general	4
2. Objetivos específicos	5
<b>IV. METODOLOGÍA</b>	5
<b>V. CONCEPTOS BÁSICOS</b>	6
1. Derivados Financieros	6
2. FinTech	6
3. Blockchain y DLT	7
4. Criptomonedas	7
5. Contratos inteligentes o <i>Smart contracts</i>	7
6. Inteligencia Artificial	8
<b>VI. DESCRIPCIÓN Y VALORACIÓN DE LOS PRINCIPALES DERIVADOS FINANCIEROS</b>	9
1. Opciones	9
2. Futuros	13
i. Contratos a plazo o Forwards	15
3. Swaps	16
4. Acuerdos de Interés Futuro o FRA	17
<b>VII. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LOS DERIVADOS FINANCIEROS. APLICACIONES Y USOS</b>	17
1. Blockchain/DLT y Derivados financieros	18
2. Criptomonedas y Derivados financieros	22
3. <i>Smart contracts</i> y Derivados financieros	25
4. Inteligencia Artificial y Derivados financieros	27
<b>VIII. CONCLUSIONES</b>	30
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA</b>	32
<b>X. ANEXO</b>	35

## I. RESUMEN

Las tecnologías de blockchain, registro distribuido o DLT (*Digital Ledger Technology*), criptomonedas, *Smart contracts* e Inteligencia Artificial tienen un gran potencial para revolucionar el funcionamiento de los mercados de derivados financieros. La implementación de dichas tecnologías en estos mercados aportará grandes ventajas, a la vez que abrirá la puerta a nuevos problemas. Mediante una revisión bibliográfica de artículos científicos, libros, páginas web y legislación, se estudian las principales aportaciones y problemas que las tecnologías de blockchain, DLT y *Smart contracts* generarán en los mercados de derivados financieros. También se analiza como las criptomonedas pueden ser usadas como activo subyacente en los novedosos “derivados de criptomonedas”. Además, se realizan ciertas observaciones acerca de la implementación de la Inteligencia Artificial en dichos mercados. Por último, se exponen ejemplos de operativa y valoración con los derivados de criptomonedas más relevantes.

## II. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de la información y la comunicación, específicamente dentro del campo de la informática, avanzan rápidamente en las sociedades actuales. Estas tecnologías también se aplican en el sector financiero, donde llegan a cambiar por completo las formas de operar en los mercados. Es precisamente el concepto de Tecnologías Financieras o FinTech (*Financial Technologies*) el que agrupa a este tipo de innovaciones y a las empresas que las utilizan (denominadas empresas FinTech o simplemente las FinTech).

Dentro del sector, los derivados financieros son los instrumentos con mayor capacidad de absorción de estas nuevas tecnologías, debido a su gran flexibilidad tanto para el establecimiento de los términos del contrato como para la elección de activos subyacentes. En concreto, se han desarrollado unas tecnologías muy novedosas con características disruptivas que tienen mucho potencial dentro del mundo de los derivados financieros, como son: la tecnología de blockchain, la Tecnología de Registro Distribuido o DLT (*Digital Ledger Technology*), las criptomonedas, los *Smart contracts* o contratos inteligentes y la Inteligencia Artificial.

Estas tecnologías tienen la capacidad de cambiar por completo la forma en la que se opera con los derivados financieros. Precisamente el objetivo de este trabajo es analizar cómo dichas innovaciones pueden modificar la contratación, operativa, compensación, liquidación, etc., de los contratos de derivados financieros, así como crear nuevos tipos de los mismos.

Un objetivo adicional es facilitar a cualquier persona que tenga interés en las finanzas y en las nuevas tecnologías mencionadas, la comprensión de las mismas y el funcionamiento de estas en relación con los derivados financieros, lo cual le dotará de unos conocimientos que sin duda le serán de gran utilidad tanto en el ámbito académico como en el laboral.

La estructuración de este trabajo es la siguiente:

- En primer lugar, se explican ciertos conceptos básicos que es necesario entender correctamente para la comprensión del trabajo.

- En segundo lugar, se realiza una breve explicación del funcionamiento de los principales derivados financieros existentes en el mercado (futuros, opciones, swaps y FRA), siendo la base para el correcto entendimiento de los siguientes capítulos.
- En tercer lugar, se expone cómo la implementación de ciertas tecnologías disruptivas en el mercado de derivados financieros puede revolucionar la forma en la que se opera con los mismos. En particular se explican:
  - Las ventajas y desventajas de la implementación de las tecnologías de blockchain y registro distribuido en el mercado de derivados.
  - Los principales derivados que tienen como activos subyacentes a las criptomonedas, denominados “derivados de criptomonedas”.
  - Las ventajas y desventajas del uso de *Smart contracts* para la contratación de derivados.
  - Ciertas observaciones acerca del uso de la Inteligencia Artificial en el entorno de los derivados financieros.
- En cuarto y último lugar, se analiza la operativa de forma empírica de tres de los principales derivados de criptomonedas: contratos de futuros del Bitcoin, contratos perpetuos del Bitcoin y opciones sobre el Bitcoin.

### III. OBJETIVOS

#### 1. Objetivo general

El **objetivo general** de este trabajo es investigar cómo una serie de nuevas tecnologías disruptivas pueden afectar al mercado de los derivados financieros, tanto a la modificación de ciertas características de los ya existentes, como a la creación de nuevos tipos de derivados financieros.

## 2. Objetivos específicos

Los **objetivos específicos** de esta investigación son:

- Explicar el funcionamiento y valoración de los principales derivados financieros.
- Identificar qué nuevas tecnologías pueden afectar al mercado de los derivados financieros.
- Determinar cómo estas nuevas tecnologías afectarán a los diferentes derivados financieros.

## IV. METODOLOGÍA

La metodología usada para la elaboración de este trabajo ha consistido en principalmente en la **revisión bibliográfica**, es decir, la recopilación de información proveniente de documentos, estudios, artículos, libros, etc. ya existentes para su posterior análisis y relación de la información que contienen. Este tipo de metodología ha sido usada para la investigación acerca del funcionamiento y valoración de los diferentes derivados, así como para conocer como las nuevas tecnologías afectan o podrán afectar al mercado de derivados y de qué manera.

Con respecto a esta parte de investigación documental, se han consultado gran cantidad de fuentes de información secundarias como pueden ser: catálogos de bibliotecas, bases de datos y diversos motores de búsqueda; para la posterior búsqueda de fuentes de información primaria (principalmente artículos científicos, libros, revistas de investigación, páginas web, periódicos sobre el tema objeto de estudio); y tras su obtención y análisis se realiza una conexión coherente entre las diversas fuentes para un correcto estudio del mercado de derivados financieros en el entorno de las nuevas tecnologías. Las fuentes han sido tanto cuantitativas (al revisar y estudiar cómo se valoran los diferentes derivados, por ejemplo) como cualitativas (al revisar los efectos que han tenido las diferentes nuevas tecnologías en la aparición de nuevos derivados o modificación de los ya existentes).

También se han realizado **ejemplos de operativa y valoración** de diversos derivados financieros, en relación con diferentes tecnologías novedosas. Estos ejemplos han sido

realizados para mejorar la comprensión con respecto al uso de estos derivados en estos nuevos entornos tecnológicos. Estos ejemplos son principalmente cuantitativos.

## V. CONCEPTOS BÁSICOS

### 1. Derivados Financieros

Los derivados financieros son **activos financieros** cuyo **valor depende** o se deriva de un activo o grupo de **activos subyacentes**. El derivado en sí es un contrato entre dos o más partes, que deriva su precio de las fluctuaciones de valor del activo subyacente. (Berk & DeMarzo, 2017; Bodie, Kane, & Marcus, 2014; Chen, 2019a)

Los activos subyacentes más comunes para los derivados son las acciones, los bonos, las materias primas, las divisas, las tasas de interés y los índices bursátiles. (Chen, 2019a)

Los derivados financieros son usados principalmente: como cobertura de otras posiciones (para protegerse ante la volatilidad del mercado) y para especular. (Bodie et al., 2014)

### 2. FinTech

El concepto de FinTech (*Financial Technology* o Tecnología Financiera) se refiere a la **integración de la tecnología en las actividades realizadas por las compañías de servicios financieros** para mejorar y facilitar el uso y entrega de estos servicios a los consumidores. (Kagan, 2019)

Funciona principalmente desglosando las ofertas de dichas compañías y creando nuevos mercados para ellas. Las *startups* (o empresas emergentes), mediante el uso de estas nuevas tecnologías financieras, desbaratan los planes de las compañías financieras más tradicionales mediante el incremento de la inclusión financiera y el uso de nuevas tecnologías para reducir los costes operacionales. (Kagan, 2019)

Muchas veces el término FinTech se usa para referirse a las empresas que usan estas nuevas tecnologías, así se les llamaría empresas FinTech o simplemente, las FinTech.

### 3. Blockchain y DLT

*“La blockchain, como su nombre indica, es una técnica de integridad consistente en la construcción de cadenas de bloques de datos, cuyo nexo de unión se basa en una técnica criptográfica robusta, denominada hash, que cierra de forma segura un bloque de información y sólo uno y abre el bloque siguiente y sólo el siguiente, por lo que no hay posibilidad de interpolaciones y en consecuencia se garantiza la inalterabilidad de la cadena y la seguridad del contenido de cada uno de los bloques que la integran”.* (Suñé Llinás & Rodríguez Caramelo, 2019)

*“La DLT (Digital Ledger Technology) o Tecnología de Registro Distribuido se caracteriza por la existencia de una base de datos conceptualmente única, pero físicamente replicada en un conjunto de nodos situados en ubicaciones geográficas distintas, sin necesidad de un administrador central”.* (Suñé Llinás & Rodríguez Caramelo, 2019)

### 4. Criptomonedas

Una criptomoneda es una **moneda digital y virtual** que usa **criptografía por seguridad**. Gracias a estas técnicas criptográficas una criptomoneda es difícilmente falsificable. Muchas criptomonedas son sistemas descentralizados basados en la tecnología blockchain y la Tecnología de Registro Distribuido (DLT). La característica principal que hace de las criptomonedas algo tan atractivo es que no han sido emitidas por ninguna autoridad central, siendo teóricamente inmunes a las interferencias o manipulaciones gubernamentales. (Frankenfield, 2019a)

### 5. Contratos inteligentes o *Smart contracts*

Un contrato inteligente o *Smart contract* es un **programa o “contrato auto-ejecutable”** cuyos **términos contractuales**, establecidos mediante un acuerdo entre el vendedor y el comprador, están escritos directamente en **líneas de código**. Tanto el código como los acuerdos establecidos en el mismo se encuentran ubicados en una



blockchain normalmente descentralizada. (Frankenfield, 2019b; Luu, Chu, Olickel, Saxena, & Hobor, 24 Oct, 2016)

Los *Smart contracts* permiten que, cuando se produzca un evento codificado en el contrato, se autoejecute la respuesta programada en el mismo para dicho evento. Por ejemplo, se puede programar un *Smart contract* para que cuando un proveedor entregue sus productos (el evento), se le haga una transferencia de forma automática (la respuesta al evento). Los contratos inteligentes permiten que se lleven a cabo transacciones y acuerdos seguros entre partes dispares y anónimas sin necesidad de ningún intermediario. La información acerca de la sucesión del evento que provocaría la ejecución del *Smart contract* se suele extraer de una fuente fácilmente verificable, conocida como el oráculo, de forma que se pueda asegurar la certeza del evento y registrar el mismo en la blockchain. (Frankenfield, 2019b; International Financial Law Review, 2016; Luu et al., 24 Oct, 2016)

## 6. Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es un **campo de la informática** dedicado a la creación de sistemas o programas que ejecutan tareas que normalmente necesitan de la **inteligencia humana** para ser realizadas. El término IA también se puede interpretar como la incorporación de la inteligencia humana a las máquinas. También se usa el término IA para referirse a cualquier programa informático que actúe simulando la inteligencia humana. (Jakhar & Kaur, 2020)

La IA es un concepto amplio que incluye otros como el aprendizaje automático o *machine learning* (ML). El ML es un subcampo dentro de la IA que incluye todos los sistemas que permiten a las máquinas aprender directamente de los datos, sin ser explícitamente programadas. El objetivo del ML es entrenar a las máquinas en base a los datos y algoritmos proporcionados, para que aprendan por sí mismas a tomar decisiones. El aspecto de “aprendizaje” dentro del ML significa que los programas de ML intentan minimizar los errores y maximizar la probabilidad de que sus predicciones sean verdaderas. (Jakhar & Kaur, 2020)

## VI. DESCRIPCIÓN Y VALORACIÓN DE LOS PRINCIPALES DERIVADOS FINANCIEROS

El principal objetivo de este trabajo es poner en relación los derivados financieros con una serie de nuevas tecnologías. Por este motivo, simplemente se realizará una breve explicación de los principales derivados financieros, para poder comprender de una manera adecuada los capítulos subsiguientes, pero sin realizar una explicación exhaustiva de los mismos. La explicación de estos derivados se realizará usando tres libros muy prestigiosos en el tema, que son:

- *Introducción a los Mercados de futuros y opciones* de John C. Hull (Hull, 2009).
- *Corporate Finance* de Jonathan Berk y Peter DeMarzo (Berk & DeMarzo, 2017).
- *Investments* de Zvi Bodie, Alex Kane y Alan J. Marcus (Bodie et al., 2014).

### 1. Opciones

Una **opción financiera** es un derivado financiero mediante el cual se establece un contrato que da a su comprador (también llamado tenedor) el **derecho**, pero **no la obligación**, de comprar o vender bienes o valores (el **activo subyacente**) a un precio fijo (denominado **precio de ejercicio** o **precio strike**) en una fecha futura específica (denominada **fecha de vencimiento**).

Hay dos tipos básicos de opciones:

- Las opciones de **compra** (opciones **call**) otorgan a su tenedor el derecho a **comprar** el activo subyacente a un determinado precio en una fecha específica.
- Las opciones de **venta** (opciones **put**) otorgan a su tenedor el derecho a **vender** un activo a determinado precio en una fecha específica.

Las opciones también pueden ser europeas o americanas, una distinción que no tiene nada que ver con su ubicación geográfica. La diferencia entre estos dos tipos de opciones se encuentra en si pueden ser ejercidas antes de la fecha de vencimiento o no. Las opciones **americanas** pueden ser ejercidas en cualquier momento de su vida útil

hasta su fecha de vencimiento, en cambio las opciones **européas** solamente pueden ser ejercidas en su fecha de vencimiento. La mayor parte de las opciones que se negocian en las bolsas de valores son opciones americanas, pero por simplicidad, las explicaciones realizadas sobre la valoración de las opciones que se harán a continuación, se harán considerando que son opciones europeas.

Debido a que las opciones son un contrato entre dos partes, por cada tenedor o comprador de una opción financiera, también existe un subscriptor o vendedor de esa opción. El comprador de la opción tiene el derecho a ejercer la opción y tiene una posición **larga**<sup>1</sup> en el contrato. Por el contrario, el vendedor de la opción tiene la obligación de cumplir con el contrato ejerciendo la opción, si así lo desea el tenedor, y tiene una posición **corta**<sup>2</sup> en el contrato. Por tanto, hay cuatro posiciones posibles, una posición larga o corta en una opción de venta y una posición larga o corta en una opción de compra. Debido a que el subscriptor de la opción está ofreciendo un derecho al comprador de la misma, este último pagará un precio por comprar la opción, el denominado **precio de la opción**. La utilidad o la pérdida del subscriptor es la contraria a la del comprador de la opción.

Dependiendo de si una opción es de venta o de compra tendrá una **utilidad o *payoff***, en función de si el valor del activo subyacente baja o sube. Si a la utilidad o *payoff* le sumamos o restamos (en función de si somos el subscriptor o el tenedor de la opción respectivamente) el precio de la opción obtenemos el **beneficio** que nos da la opción. Por simplicidad simplemente describiremos como se especifica la utilidad de una opción. Siendo:

$K = \text{precio del ejercicio o precio strike}$

$S_T = \text{precio del activo subyacente en la fecha de vencimiento de la opción}$

---

<sup>1</sup> Una posición larga es una posición alcista, es decir, es la posición tomada por el inversor cuando éste piensa que la empresa o mercado en el que quiere invertir se va a revalorizar en el corto o largo plazo. Para tomar una posición larga primero se deberán comprar los activos financieros para luego intentar venderlos a un precio superior, obteniendo así un beneficio. (Pastor, 2018)

<sup>2</sup> Una posición corta es una posición bajista, es decir, es la posición tomada por el inversor cuando éste piensa que la empresa o mercado en el que quiere invertir se va a depreciar en el corto o largo plazo. Para poder operar con posiciones cortas, el inversor deberá primero tomar prestados los activos financieros con los que quiera operar para poder venderlos en el mercado, comprándolos más adelante para poder devolverlos a su propietario. Para que un inversor en esta posición gane dinero el activo deberá devaluarse, para venderlo por más dinero de lo que le ha costado comprarlo. (Chen, 2019c; Pastor, 2018)

La utilidad obtenida por tanto será:

- En el caso de una **posición larga** en una **opción de compra**:

$$\max(S_T - K, 0)$$

Reflejando así que la opción sólo se ejercerá si  $S_T$  es mayor que  $K$ .

- En el caso de una **posición corta** en una **opción de compra**:

$$-\max(S_T - K, 0) = \min(K - S_T, 0)$$

- En el caso de una **posición larga** en una **opción de venta**:

$$\max(K - S_T, 0)$$

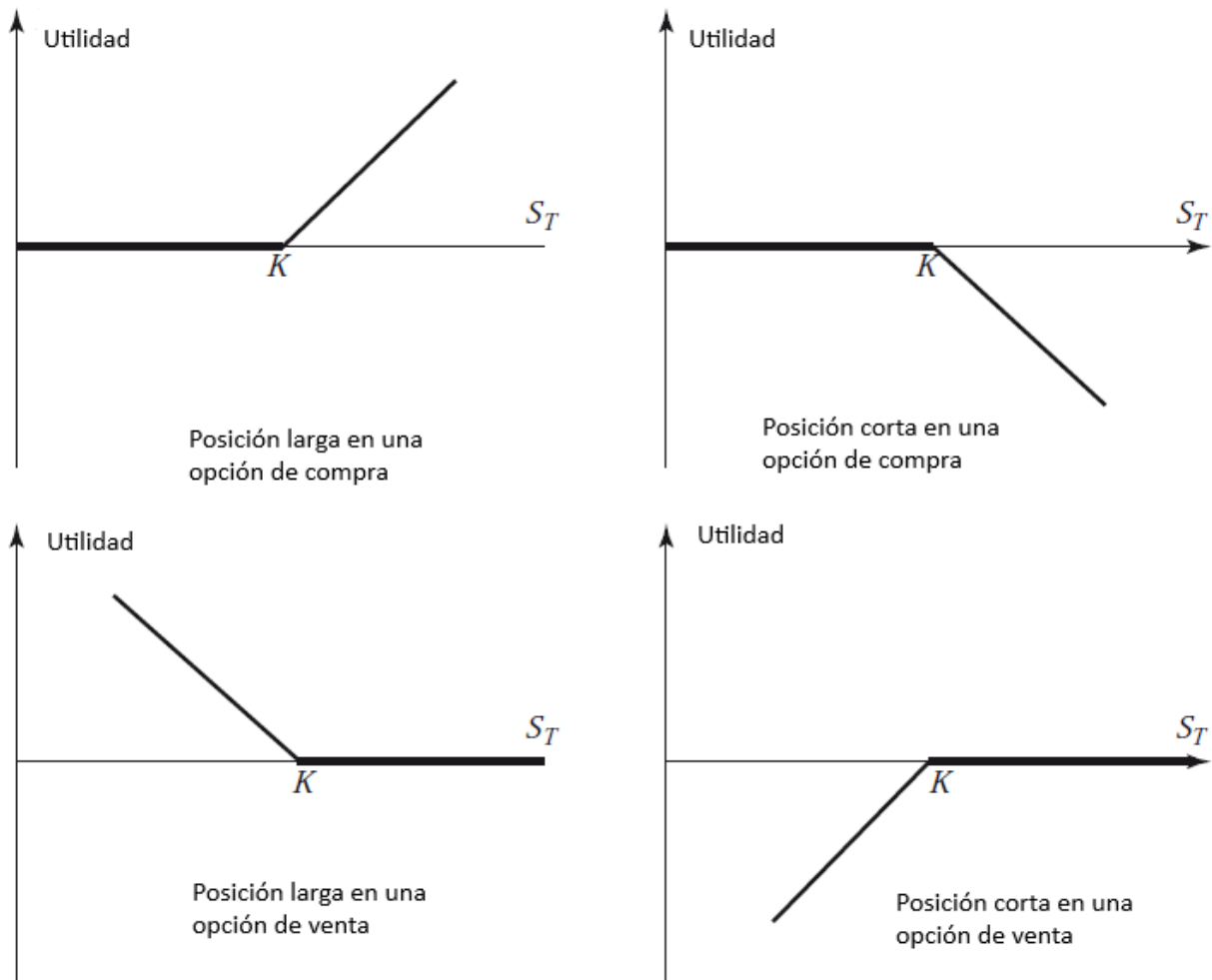
Reflejando así que la opción sólo se ejercerá si  $K$  es mayor que  $S_T$ .

- En el caso de una **posición corta** en una **opción de venta**:

$$-\max(K - S_T, 0) = \min(S_T - K, 0)$$

Si exponemos de forma gráfica la utilidad obtenida en los diferentes tipos de opciones, tanto desde la perspectiva del subscriptor como de la del tenedor de la opción, y siendo el eje X el valor del activo subyacente y el eje Y la utilidad obtenida con la opción observamos:

**Figura 1.** *Payoff* o utilidad obtenida con los diferentes tipos de opciones.



**Fuente:** (Hull, 2009), con modificaciones del autor del trabajo.

Existe una terminología y conceptos específicos de las opciones, como por ejemplo los conceptos de *in the money*, *at the money* y *out of the money*, los de **valor intrínseco** y **valor temporal**, y el de la **paridad entre opciones de venta y de compra**; que necesitan ser explicados de forma detallada, pero debido a que el objetivo principal de este trabajo no es describir las opciones, simplemente se dejarán mencionados.

Por la misma razón las formas de valoración de las opciones como pueden ser: la técnica del **árbol binomial**, la **valoración neutral al riesgo** y la fórmula de **Black-Scholes**; simplemente serán citadas. De todas formas, será útil mencionar que el valor de una opción de compra aumenta (disminuye) cuando el precio *strike* disminuye (aumenta), manteniendo los demás factores constantes. De la misma forma, el valor de una opción

de venta aumenta (disminuye) cuando el precio *strike* aumenta (disminuye), manteniendo los demás factores constantes.

(Berk & DeMarzo, 2017; Bodie et al., 2014; Hull, 2009)

## 2. Futuros

Un **contrato de futuros** es un acuerdo para **comprar o vender** un activo (el **activo subyacente**) en una **fecha específica** (denominada **fecha de entrega**) en el futuro a un **precio determinado**. Pero, a diferencia de las opciones, en este tipo de contratos la operación se tiene que realizar, ninguna de las dos partes tiene el derecho a no ejercer la operación. Debido a esto, los contratos de futuros son más baratos que las opciones, ya que ninguna de las partes tiene que compensar a la otra por la tenencia de un derecho exclusivo.

El **beneficio** de una parte es la pérdida de la otra. Siendo:

$P_T$  = Precio de contado en la fecha de entrega (tiempo  $T$ ), precio spot

$F_0$  = Precio del futuro en la fecha de celebración del contrato (tiempo 0)

- El beneficio para la posición larga es:  $P_T - F_0$
- El beneficio para la posición corta es:  $F_0 - P_T$

Una característica relevante de los contratos de futuros es la **convergencia** del precio de futuros con el precio *spot* (de contado), es decir, que a medida que se aproxima el periodo de entrega de un contrato de futuros, el precio de futuros converge con el precio actual del activo subyacente. En la fecha de entrega el precio de futuros deberá ser igual o prácticamente igual al precio *spot*, ya que en caso contrario existirían oportunidades de arbitraje.

Se ha de comentar también que rara vez sucede la entrega en un contrato de futuros. Lo que suele pasar es que el inversionista que tiene una posición en un contrato de futuros la cerrará antes de que suceda la entrega. Cerrar una posición implica participar en una transacción opuesta a la transacción original que abrió la posición, es decir, se abre una nueva operación sobre el mismo futuro, con la misma fecha de entrega y la

misma cantidad de contratos, pero en posiciones contrarias: si el inversor estaba en una posición larga entrará en una posición corta y viceversa.

Otra característica de los futuros es que se comercian en **mercados organizados**, como la bolsa de valores, y gracias a esto se evita, mediante el uso de **márgenes**, el incumplimiento de los contratos por cualquiera de las partes. El intermediario entre el comprador y el vendedor que garantiza el cumplimiento del contrato se denomina **cámara de compensación o contraparte central** (CCP, del inglés *Central Counterparty Clearing House*)<sup>3</sup>. Este intermediario realizará una serie de actuaciones para asegurar el cumplimiento del contrato, que son:

- En primer lugar, exigirá la aportación de un **margen inicial**. Este margen es el monto que debe depositarse al momento de ingresar al contrato, y permite asegurar que no se incumplirá.
- Tras esto, al final de cada día de negociación, la cuenta de margen se ajustará de tal manera que refleje la ganancia o pérdida del inversionista. Esta práctica es conocida como **Ajuste al Mercado** (*Marking to Market*) de la cuenta.
- Para garantizar que el saldo de la cuenta de margen nunca sea negativo, se establece un **margen de mantenimiento**, el cual es menor que el margen inicial (es común que sea la mitad del inicial). Si el saldo de la cuenta de margen cae por debajo del margen de mantenimiento, el inversionista recibe una demanda de garantía adicional (también conocida como *margin call* en inglés) con la expectativa de que incremente el saldo de la cuenta de margen hasta el nivel del margen inicial al día siguiente. Los fondos adicionales depositados se conocen como **margen de variación**. Si el inversionista no proporciona el margen de variación, el intermediario cierra la posición. Si la posición se cierra de esta manera, el inversionista pierde más<sup>4</sup> que, si hubiese proporcionado los fondos

---

<sup>3</sup> Los propios compradores y vendedores tienen sus propios intermediarios para interactuar con la bolsa de valores (a los cuales tienen que pagar estos márgenes), y son en realidad estos intermediarios los que actúan y responden ante la cámara de compensación (pagándole a esta los debidos márgenes) pero por simplicidad en la explicación supondremos que los intermediarios son los propios compradores y vendedores.

<sup>4</sup> Podría llegar a perder menos cerrándolo de esta manera en el caso de que el activo en un día perdiese más valor que la cantidad de margen de mantenimiento que se debe aportar, pero estos son movimientos muy bruscos y poco comunes.

para cubrir el margen de mantenimiento y luego hubiese cerrado la posición, dado que de esta manera sólo perdería la diferencia de valor existente entre ese día y el día inicial, en vez de todo el dinero de la cuenta de margen.

- Otra actividad fundamental de la CCP para disminuir su propio riesgo de impago es mediante la **compensación de operaciones**: se substraen las pérdidas de las ganancias y únicamente se paga la diferencia, en vez de tener que pagar cada contrato de forma individual. La compensación ahorra a las empresas una gran cantidad de tiempo y costes, eliminando la necesidad de procesar una gran cantidad de transacciones al mes, al reducirse las transacciones necesarias a un único pago. (Surujnath, 2017)

(Bodie et al., 2014; Hull, 2009)

### i. Contratos a plazo o Forwards

Un **contrato a plazo o forward** es un acuerdo que especifica las condiciones para la compra o venta de un activo subyacente en una fecha futura a un precio determinado. Un contrato forward es como un contrato de futuros pero que se realiza en el mercado extrabursátil (también conocido como mercado *Over-the-Counter* (OTC)<sup>5</sup>), sin necesidad de un intermediario (la denominada cámara de compensación) y sin necesidad de aportar un margen para asegurar que el contrato se llevará a cabo.

Por ende, un contrato forward, al producirse de forma extrabursátil, permite establecer unas condiciones totalmente libres entre ambas partes del contrato, así como un apalancamiento infinito al no tener que mantener una cuenta de margen. En un contrato de forwards los fondos se mantienen hasta la fecha de vencimiento, sin que se produzca ninguna transferencia de fondos hasta dicha fecha, aunque se podrá comerciar con la venta o compra del contrato en sí.

El beneficio de un contrato forward para el inversionista que toma la posición larga es simplemente el precio *spot* al vencimiento menos el precio del forward. Para la parte

---

<sup>5</sup> Un mercado OTC es uno donde se negocian productos financieros directamente entre dos partes, fuera de mercados organizados como la bolsa de valores. (Bodie et al., 2014)



que toma la posición corta es justo al revés, el precio del forward menos el precio *spot* en la fecha de vencimiento.

(Bodie et al., 2014)

### 3. Swaps

Un **swap** es un acuerdo entre dos empresas para intercambiar flujos de efectivo en el futuro. También se pueden definir como la realización de múltiples forwards en múltiples periodos. En el acuerdo se definen las fechas de pago de los flujos de efectivo y cómo deben calcularse. Por lo general, el cálculo de los flujos de efectivo implica el valor futuro de una tasa de interés, un tipo de cambio u otra variable del mercado. Se negocian en el mercado OTC.

Es muy común el uso de los **swaps sobre los tipos de interés** para reestructurar una deuda (por ejemplo, un préstamo) que tenga una tasa de interés fija a una variable y viceversa. Por ejemplo, una empresa (empresa A) que tenga un préstamo (el principal notional) a tipo de interés fijo y que quiera cambiarlo a tipo de interés variable (porque cree que los tipos bajarán), en vez de reestructurar la deuda con el acreedor (empresa B), ya que es un proceso complejo y caro, puede establecer un swap con una empresa de swaps (el intermediario, no es necesario, pero es común que exista). En este contrato la empresa A pagará un tipo de interés variable (normalmente el LIBOR o el EURIBOR) sobre el principal al intermediario y luego este pagará a la empresa B un tipo fijo sobre el principal. De esta manera la empresa A ha reestructurado su deuda de una manera mucho más sencilla.

Otro tipo de swaps muy común es el **swap de divisas**, los cuales consisten en intercambiar el principal y los pagos de intereses en una moneda por el principal y los pagos de intereses en otra moneda.

(Bodie et al., 2014; Hull, 2009)

#### 4. Acuerdos de Interés Futuro o FRA

Un **acuerdo de interés futuro** o **FRA** (por sus siglas en inglés, *forward rate agreement*) es un acuerdo OTC que establece que se aplicará cierta tasa de interés al adquirir en préstamo o prestar determinado principal durante un periodo futuro específico. Normalmente adquirir un préstamo o prestar se realiza a la tasa LIBOR o EURIBOR.

Este tipo de contratos se asemejan a un futuro, pero en vez de realizarse una entrega de un activo en una fecha futura al precio estipulado en el contrato de futuros, mediante el uso de un FRA se aplicará una tasa de interés acordada sobre un préstamo en una fecha futura, en vez de aplicarse la tasa de interés real existente en esa fecha futura determinada.

(Hull, 2009)

### VII. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS EN LOS DERIVADOS FINANCIEROS. APLICACIONES Y USOS

Las empresas FinTech han supuesto una revolución en el sector financiero y los derivados financieros no se han quedado fuera de la misma. Aun así, las nuevas tecnologías que han empezado a aplicar en las finanzas las FinTech como pueden ser la blockchain, la DLT, las criptomonedas, los *Smart contracts* y la Inteligencia Artificial, todavía están empezando a ser aplicadas en el mundo de los derivados financieros. Pero debido a sus características disruptivas, no hay duda de que alterarán ampliamente la forma en la que se opera con los mismos.

En este capítulo del trabajo se realizará un análisis sobre como las nuevas tecnologías de blockchain/DTL, criptomonedas, *Smart contracts* e IA han cambiado o podrán cambiar el sector de los derivados financieros y de que formas lo han hecho o lo harán.

## 1. Blockchain/DLT y Derivados financieros

Las tecnologías de blockchain y DLT tienen una gran cantidad de usos potenciales en el mercado de los derivados financieros. En este apartado del capítulo se analizarán las ventajas y las desventajas que pueden aportar estas dos nuevas tecnologías al sector de los derivados financieros. Para este apartado se considerará que se usan ambas tecnologías conjuntamente. En concreto, pueden aportar las siguientes **ventajas**:

- **Sustitución de las contrapartes centrales.** Uno de los riesgos principales del uso de derivados financieros es el riesgo de contraparte. Este riesgo es un tipo de riesgo de crédito que mide la probabilidad de que la contraparte en un contrato de derivados sea incapaz de cumplir el mismo, es decir, que sea incapaz de pagar o entregar el activo subyacente. Mide el grado de exposición de una empresa al posible incumplimiento de su contraparte.

Para mitigar este tipo de riesgo se desarrollaron las contrapartes centrales (CCP), las cuales consiguen disminuir el impacto del impago o incumplimiento de un contrato al ser “el comprador de cualquier vendedor y el vendedor de cualquier comprador”. Aun así, las CCP tienen gran cantidad de problemas debido a su centralización, el principal es el gran riesgo de crédito al que están expuestas (muchos agentes pueden no poder pagar y es la CCP la que asume todos estos impagos).

Aquí es donde entra la tecnología de blockchain, al poder sustituir a las CCP o reducir la dependencia de los mercados en las mismas, ya que la propia cadena de bloques se asegura de que ambas partes del contrato posean los activos antes de que se consume el acuerdo. Mediante la implementación de la blockchain se dejará de depender de una autoridad central de la que todos los operadores del mercado se fían, únicamente deberán fiarse del proceso informático automático mediante el cual funciona la blockchain. Sin embargo, la blockchain, aunque pueda verificar el acuerdo, no puede eliminar el riesgo de contraparte completamente al tener dificultades para realizar la compensación de operaciones.

Por ello, los detractores de la tecnología de blockchain consideran que la misma no sustituirá completamente a las CCP. Pero los defensores de la misma, argumentan que esta podría consolidar la información de las operaciones realizadas en un periodo determinado en un único movimiento agregado.

Cuanto más madure la tecnología más se podrán disipar todas las dudas que plantea, pero lo que está claro es que la blockchain deberá demostrar claras mejoras de la eficiencia para sustituir completamente a las CCP. De todas formas, donde la utilidad de la blockchain es bastante clara, es en los mercados de derivados OTC, donde no existe una CCP, y la blockchain podría asumir las funciones que tendría esta, funcionando como una red de compensación descentralizada. (Surujnath, 2017)

- **Plataformas mejoradas para el registro de datos y su divulgación.** Incluso aunque las CCP mantengan su funcionalidad, la blockchain permitirá la creación de unas plataformas de registro de datos y divulgación más eficientes. Los reguladores al ser un nodo de la blockchain, tendrán una copia del registro completo de las operaciones, que incluye la información pertinente a cada transacción, los márgenes y los perfiles de riesgo de las diferentes empresas participantes. Esto permitirá que tengan un mejor conocimiento de la situación actual del mercado, al disponer del registro de operaciones completo y actualizado. (Surujnath, 2017)
- **Reducción del riesgo sistémico.** El riesgo sistémico expresa la posibilidad de que un evento concreto en una empresa pueda ocasionar una inestabilidad grave o el colapso de toda una industria o economía. Normalmente, son las grandes compañías las que se considera que poseen un riesgo sistémico, es decir, las que son “demasiado grandes como para quebrar”; ya que si quiebran provocarían un efecto dominó sobre toda la industria o economía.

Debido a su función principal, las CCP están inherentemente conectadas a una gran cantidad de entidades financieras, lo cual hace que posean una gran cantidad de riesgo sistémico, dado que si cae una CCP toda la economía sufriría. Pero gracias al uso de la tecnología de blockchain (la cual posee como uno de sus

pilares básicos la ausencia de un único punto débil que haga que toda la cadena de datos se venga abajo) se puede disminuir considerablemente el riesgo sistémico, al descentralizar ciertos procesos que normalmente (con las CCP) están excesivamente centralizados.

El sistema ideal basado en la blockchain puede descentralizar las principales funciones de compensación y distribuir esas tareas entre los miembros de la red. Asimismo, al existir numerosos nodos que replican la información, aunque caiga un nodo central, la cadena de datos se encuentra distribuida en múltiples nodos por lo que, aunque un usuario del mercado pierda su registro de operaciones todos los demás usuarios lo tienen así que pueden seguir operando normalmente. (Surujnath, 2017)

- **La tecnología de blockchain puede ser usada como herramienta de seguimiento del riesgo sistémico.** Además de reducir la cantidad de riesgo sistémico, el uso de la blockchain junto con la DLT puede evitar, mediante la generación de un registro distribuido e inalterable de todas las operaciones de derivados, que queden transacciones de derivados OTC sin controlar que puedan ocasionar una grave desestabilización de la economía. (Collomb & Sok, 2016)
- **Disminución de los costes de transacción y aumento de la transparencia.** Mediante la aplicación de la blockchain, al no necesitarse una CCP y al automatizarse los procesos de reconciliación<sup>6</sup>, los costes de transacción serán ampliamente reducidos. De la misma manera, al poseer cada usuario una copia del registro completo de operaciones la transparencia en el mercado se incrementará. Debido a ambos factores, se facilitará la creación de mercados líquidos para inversiones que antes eran muy ilíquidas como inmuebles, deuda a largo plazo, financiación de empresas sociales y participaciones de capital en nuevas empresas innovadoras. (Avgouleas & Kiayias, 2019; Morini, 2016)

---

<sup>6</sup> El proceso de reconciliación se refiere al método de establecer la veracidad de una transacción que consiste en la comparación de los detalles de la misma en los registros de todas las partes involucradas. Si los registros coinciden se considera que dicha operación ha sido validada y correctamente registrada. (Morini, 2016)

Sin embargo, la aplicación de la blockchain y DLT también posee ciertas **desventajas**:

- **Nuevos riesgos sistémicos.** Las vulnerabilidades tecnológicas pueden crear nuevos riesgos sistémicos, que las instituciones reguladoras deberán prever para evitar una futura crisis. La blockchain puede evitar un tipo de riesgo sistémico (el que poseen las CCP), pero puede generar otros nuevos. Los detalles de cualquier medida preventiva dependerán en gran medida de cómo se desarrolle la tecnología, pero lo que está claro ahora mismo es que un análisis de los riesgos sistémicos que pueda plantear la tecnología de blockchain probablemente requerirá una comprensión tan profunda de los datos y el código como de las finanzas y la ley. (Surujnath, 2017)
- **Irrevocabilidad de los defectos en la contratación.** Una desventaja fundamental de un sistema que dependa completamente de la tecnología de blockchain es que no puede garantizar los pagos en caso de que haya un defecto en la contratación. Normalmente se podría cancelar o revocar un contrato de derivados en el caso de que haya algún defecto en el mismo, pero debido a que la irrevocabilidad es uno de los pilares básicos de la blockchain, aquellas partes que han sido agravadas por este defecto carecen de recursos legales para remediar la situación. (Surujnath, 2017)
- **Incompatibilidad de los diferentes registros distribuidos.** Para que se implante el blockchain de forma general en los mercados financieros es necesario que se cree un estándar de registros distribuidos para permitir la compatibilidad entre los mismos. Es necesario que los diferentes registros (incluyendo los de las criptomonedas), con diferentes requisitos de privacidad y verificación, sean compatibles entre sí y de momento la tecnología no está preparada para ello. (Morini, 2016)
- **Dificultad para la compensación.** La compensación de operaciones es una función fundamental de los intermediarios de los mercados de derivados para reducir el riesgo de impago, al compensar las operaciones ganadoras con las perdedoras, no necesitando así tramitar los cobros y pagos de todas las

operaciones. Sin embargo, la naturaleza secuencial de la tecnología de blockchain impide la compensación de operaciones. (ESMA, 2016)

## 2. Criptomonedas y Derivados financieros

Otra nueva tecnología que se encuentra muy relacionada con las de blockchain y DLT, y que puede tener un gran impacto en el mercado de derivados son las criptomonedas. Estas monedas virtuales, al igual que cualquier otro activo, pueden ser usadas como activo subyacente para multitud de derivados, generándose así multitud de los denominados **derivados de criptomonedas**.

La mayoría de los derivados actuales de criptomonedas están basados en el Bitcoin o BTC (Bitcoin, 2020) o en el Ether o ETH (la criptomoneda de la plataforma Ethereum (Ethereum, 2020)) que son las dos criptomonedas con mayor capitalización de mercado (CoinMarketCap, 2020). Concretamente los principales derivados que han surgido de estas criptomonedas son: las opciones y futuros del Bitcoin y el Ether; y los swaps, futuros o contratos perpetuos del Bitcoin (Aziz, 2018). Todos ellos serán explicados a continuación:

- **Los contratos de futuros de criptomonedas.** Los futuros del Bitcoin fueron el primer derivado de criptomonedas que existió, introducido en diciembre de 2017 por el *Chicago Mercantile Exchange* (CME) y por el *Chicago Board Options Exchange* (CBOE) (Akyildirim, Corbet, Katsiampa, Kellard, & Sensoy, 2019). El funcionamiento de los futuros de criptomonedas es muy parecido al de los futuros sobre otros activos, y consisten en un acuerdo donde se establece una **obligación** para **comprar** o **vender** una cantidad determinada de criptomonedas (Bitcoins, por ejemplo) en una **fecha específica** (la fecha de entrega) en el futuro a un **precio determinado** (CME Group, 2019).
  - **Los contratos de futuros perpetuos del Bitcoin.** Un tipo de contratos de futuros de criptomonedas casi exclusivo de las mismas son los contratos de futuros perpetuos, también denominados **contratos perpetuos** (teniendo en casi todos los casos como activo subyacente al Bitcoin). Este

tipo de contratos son un tipo especial de contratos de futuros con **dos características diferenciadoras**:

- La primera es que **no tienen una fecha de vencimiento**, con lo cual el vendedor o el comprador pueden mantener la posición todo el tiempo que deseen. Cuando una de las partes quiere liquidar el contrato podrá: vender dicho contrato a otro participante del mercado o posicionarse como contraparte de su contrato inicial. La rapidez a la que suceda la venta de dicho contrato dependerá de la liquidez del mercado de futuros perpetuos del Bitcoin en dicho momento, cubriendo temporalmente la posición el *exchange* de criptomonedas<sup>7</sup>. (Binance, 2020b; BitMEX, 2019; Janey, 2019; RNR, 2018; Sam, 2019; Xena Exchange, 2019)
- La segunda característica es que el precio del contrato de futuros perpetuos se basa en un **Precio Índice subyacente**, el cual consiste en el precio *spot* promedio del activo sobre el que se celebra el contrato (en este caso del Bitcoin). Por lo tanto, y a diferencia de los futuros convencionales, los contratos perpetuos se negocian a menudo a un precio que es igual o muy similar al precio *spot* (el Precio Índice), difiriendo únicamente por el Importe de Financiación, obtenido al multiplicar la Tasa de Financiación<sup>8</sup> por el valor de la posición, que se debe aportar. Esto permite simular el mercado normal de Bitcoins, pero admitiendo posiciones largas y cortas.

Las Tasas de Financiación permiten regular el precio del contrato de futuros perpetuos y acercarlo al precio *spot*, puesto que, si el

---

<sup>7</sup> Un *exchange* de criptomonedas es una plataforma online donde se pueden comprar criptomonedas a cambio de otras criptomonedas o divisas corrientes. Estos *exchanges* también permiten la celebración de contratos de derivados sobre criptomonedas. (Binance, 2020a)

<sup>8</sup> Las Tasas de Financiación son un mecanismo usado por aquellos *exchanges* donde se ofrecen contratos permanentes. La idea es que la parte que vaya a favor del mercado (por ejemplo, una persona que en un mercado alcista se posiciona en largo) debe pagar un importe a la parte que vaya en contra del mercado. (CoinFlex, 2019)



precio del contrato de futuros perpetuos está por encima del precio *spot*, la Tasa de Financiación será positiva y los compradores (en posiciones largas) deberán pagar a los vendedores (en posiciones cortas) el Importe de Financiación. Esto permite disminuir el precio del contrato de futuros perpetuos, ya que se los compradores cerrarán sus posiciones y nuevos vendedores abrirán posiciones. La Tasa de Financiación es calculada por el *exchange* mediante una fórmula que relaciona la Tasa de interés (la cual es una función de las tasas de interés de la criptomoneda y la moneda de curso legal) y la diferencia entre el precio del contrato perpetuo y el precio de referencia<sup>9</sup>.

El Importe de Financiación se paga al final de cada periodo, que normalmente son de 8 horas. Es común que la Tasa de Financiación sea distinta para cada uno de estos periodos, y por lo tanto el Importe de Financiación también cambia. Muchos inversores usan este tipo de contratos para ganar dinero simplemente posicionándose en contra del mercado y recibiendo el Importe de Financiación de aquellos que se encuentran a favor de la tendencia del mercado.

(Binance, 2020b; BitMEX, 2019; Janey, 2019; RNR, 2018; Sam, 2019; Xena Exchange, 2019)

- **Las opciones de criptomonedas.** Las opciones de criptomonedas son un contrato de opciones que tiene como activo subyacente a una criptomoneda, que normalmente es el Bitcoin o el Ether. (Aziz, 2018; Janey, 2019; Lielacher, 2019)
- **Los swaps perpetuos del Bitcoin.** Los swaps perpetuos del Bitcoin son similares a los futuros perpetuos del Bitcoin, simplemente se diferencian en pequeños detalles de la especificación del contrato como, por ejemplo, en la cantidad de horas entre cada importe de financiación a pagar o cobrar. Se podría decir que

---

<sup>9</sup> El precio de referencia o *mark price* es una estimación del valor real de un contrato (conocido como *fair value*) cuando se compara con su precio real de negociación (el último precio establecido). (Binance, 2020b)

los futuros perpetuos del Bitcoin y los swaps perpetuos del Bitcoin son el mismo derivado financiero, simplemente tienen distintos nombres según el *exchange* y por cuestiones de marketing (Simpson, 2018).

En aras de una mayor comprensión de estos derivados, en el **Anexo** se realizan simulaciones de operativa con: contratos de futuros del Bitcoin, contratos perpetuos del Bitcoin y una opción de compra sobre el Bitcoin. También, se realiza la valoración de esta opción de compra sobre el Bitcoin.

### 3. *Smart contracts* y Derivados financieros

Los *Smart contracts*, junto con la tecnología de blockchain examinada previamente, pueden aportar gran cantidad de novedades al sector de los derivados financieros. En este apartado del capítulo se analizarán las ventajas y las desventajas que puede aportar dicha tecnología al mundo de los derivados.

En cuanto a las **ventajas**, se observan las siguientes:

- **Confianza entre partes innecesaria.** Una de las ventajas fundamentales de los *Smart contracts* es que eliminan la necesidad de la confianza entre las partes de un contrato de derivados. Las partes dejarán de necesitar confiar en sus contrapartes acerca de la correcta ejecución del contrato en los mercados OTC sin intermediarios; o dejarán de necesitar confiar en un intermediario que garantice la ejecución del contrato. Simplemente necesitarán confiar en el código del *Smart contract*, puesto que será este el que liquidará el contrato cuando se cumplan los requisitos establecidos en el mismo para su ejecución. Por ejemplo, en un contrato de futuros establecido mediante un *Smart contract*, en cuanto llegue la fecha de vencimiento se realizará de forma automática la entrega del activo subyacente al comprador y del dinero al vendedor, habiéndose asegurado previamente el *Smart contract* que ambas partes disponían tanto del activo subyacente como del dinero correspondiente. (Morini, 2016; Surujnath, 2017)

- **Mejorar la eficiencia.** El uso de *Smart contracts* para realizar contratos de derivados podrá mejorar la eficiencia al incrementarse la velocidad y la certidumbre de ejecución de los contratos, al calcular el programa automáticamente los importes finales de compensación y generar las instrucciones de pago, sin necesidad de un intermediario. Además, permitirá mejorar la eficiencia con respecto: al momento de la liquidación, al cálculo de las respectivas posiciones de las partes y a la contabilización de los márgenes necesarios. (International Financial Law Review, 2016)
- **Reducción de costes.** Otra de las ventajas fundamentales de la aplicación de los *Smart contracts*, es que permiten una reducción considerable de los costes, gracias a la eliminación de los intermediarios o CCP de las operaciones y de todos los costes e ineficiencias que llevan asociados, ya que es el propio código del *Smart contract* el que realiza las funciones de liquidación y compensación propias de las CCP. (International Financial Law Review, 2016; Surujnath, 2017)

Con respecto a las **desventajas** del uso de los *Smart contracts* en los derivados financieros se observan las siguientes:

- **Complejidad limitada.** Una de las principales limitaciones que tienen los *Smart contracts* es que debido a la necesidad que tienen de obtener la información sobre la sucesión de un evento, de fuentes fiables y fácilmente verificables (denominadas oráculos), estas son limitadas, pues tienen que estar disponibles en el momento requerido y no han de permitir ninguna manipulación o segundas interpretaciones. Esto limita la complejidad y capacidad de adaptación de los contratos de derivados a los deseos de las partes que pueden realizarse mediante la programación de *Smart contracts*, pues puede ser que alguna de las fuentes que se necesitan para ciertos aspectos del contrato no cumplan dichos requisitos de disponibilidad, inalterabilidad y facilidad en la verificación; además pueden existir ciertas características del contrato que sean difícilmente programables. (International Financial Law Review, 2016)

- **Falta de regulación.** De momento, los *Smart contracts* no tienen apenas regulación, por lo que no gozan de todas las garantías legales que tienen los contratos de derivados realizados a través de intermediarios autorizados. (International Financial Law Review, 2016)

#### 4. Inteligencia Artificial y Derivados financieros

Otra tecnología que seguramente cambiará por completo la forma de operar con derivados financieros es la Inteligencia Artificial (IA), mediante el uso del aprendizaje automático o *machine learning* (ML). En este apartado del capítulo se realizarán ciertas observaciones acerca de cómo esta tecnología puede afectar al mercado de los derivados financieros. Dichas observaciones son:

- **Cobertura automática de posiciones.** Mediante el uso de ML, se podrán cubrir posiciones de forma automática y mucho más rápidamente. Esto permitirá a las compañías aumentar la cantidad de inversiones que pueden realizar, puesto que podrán cubrir los riesgos de las mismas de una forma mucho más rápida y eficiente. (Sherif, 2019)
- **Mejora en la valoración de derivados.** Actualmente los sistemas de ML en ciertos casos ya superan a los sistemas tradicionales en la valoración de ciertos derivados financieros, como es el caso de una red neuronal (un tipo de sistema de ML) que supera al modelo Black-Scholes en la valoración de opciones de compra europeas (Bennell & Sutcliffe, 2004). Además, cuanto más exóticos sean los derivados y menos modelos existan para su valoración o cobertura, más potencial hay para los sistemas de aprendizaje automático, puesto que pueden aprender a valorarlos o extraer cierta información de los mismos de maneras que ningún ser humano podría haber descubierto. (Fraser Voigt, Strongin Dodds, & Pierron, 2017; FSB, 2017)
- **Evaluación de la calidad de crédito.** A día de hoy, se pueden programar inteligencias artificiales para evaluar la calidad de crédito de una parte en un contrato de derivados. La IA puede realizar esta operación de una forma mucho

más rápida y precisa que un ser humano, y se podrá usar antes de iniciar cualquier operación. Esto permitirá reducir el riesgo de crédito, dado que se impedirá a aquellas personas o entidades que tengan una baja calidad de crédito (o lo que es lo mismo, un alto riesgo de impago) operar en los mercados, o tendrán grandes dificultades para hacerlo (al imponérseles mayores garantías antes de realizar una operación, por ejemplo). (FSB, 2017)

- **Formas de inversión no humanas.** Cuando programas de ML aprendan a invertir en general y con derivados financieros en particular, es muy probable que aprendan a hacerlo de una manera completamente diferente a como lo haría un ser humano; de manera semejante a como ocurrió con el programa *AlphaZero*, el cual aprendió a jugar al ajedrez por sí sólo en unas horas y se volvió el mejor jugador de ajedrez del mundo, realizando jugadas de ajedrez que ningún ser humano se había planteado antes (Fraser Voigt et al., 2017; García, 2019; Marín Bellón, 2019). Cuando esto suceda, es muy probable que se descubran nuevas formas de invertir totalmente revolucionarias. Pero si son realmente mucho más rentables, pueden cambiar radicalmente la forma de operar; por ejemplo, volviendo a los humanos totalmente incapaces de competir en el mercado contra estos programas, de la misma manera que ningún humano es ni será capaz de vencer a *AlphaZero* jugando al ajedrez. Actualmente ya se están usando estos sistemas para buscar señales que permitan obtener mayores rendimientos y para optimizar la ejecución de las operaciones (FSB, 2017). Aun así, de momento las actividades realizadas por las IA son muy específicas, sirviendo de ayuda para los inversores, pero sin la autonomía suficiente para poder invertir o realizar operaciones con derivados por sí mismas (Fraser Voigt et al., 2017).
- **Estabilidad del sistema financiero.** La implementación de la IA en los mercados de derivados puede suponer tantos beneficios como riesgos para la estabilidad del sistema financiero. Los principales son:
  - El principal beneficio de la implementación de la IA en los mercados de derivados es que esta es capaz de procesar información de una manera mucho más eficiente pudiendo así contribuir al desarrollo de un sistema

financiero más eficiente. Gracias a la mayor eficiencia del sistema se disminuirán los costes innecesarios. (FSB, 2017)

- El principal riesgo que supondrá la implementación de la IA en dichos mercados es que llegará un momento en que los programas de IA y ML no podrán ser interpretados debido a que han aprendido a realizar tareas de una manera que está fuera de la comprensión humana. Debido a ello no podrán ser correctamente auditados, lo cual supone un riesgo macroeconómico, ya que las autoridades supervisoras no podrán determinar si dichos programas cumplen con la normativa financiera o no. También es muy posible que si no se pueden entender estos sistemas, al interactuar con el mercado provoquen consecuencias negativas e inesperadas. (FSB, 2017)
- **Cumplimiento normativo.** Otro ámbito donde la IA tendrá un gran impacto será en el de cumplimiento normativo. Actualmente la industria de los derivados financieros se enfrenta, debido a la crisis de 2008, a una gran cantidad de regulación, como EMIR, Dodd-Frank, MiFID II, etc. Ante este panorama la mayoría de los agentes del mercado, para poder hacer frente a la elevada cantidad de regulación que ha aparecido, han contratado a numerosos especialistas en el ámbito de la regulación financiera, lo cual ha tenido un gran impacto en la rentabilidad de las empresas, al aumentarse los costes. Sin embargo, si se implementan inteligencias artificiales y sistemas de ML en el ámbito del cumplimiento normativo (cómo ya se está realizando en ciertas compañías), se podrá sustituir a todos estos especialistas, disminuyendo de manera considerable los costes de las entidades financieras. (Fraser Voigt et al., 2017; FSB, 2017)

## VIII. CONCLUSIONES

1. El estudio de las tecnologías de blockchain y de registro distribuido (DLT) en relación con los derivados financieros ha ilustrado que, aunque tienen un gran potencial para disminuir ciertos tipos de riesgos (como los de crédito y sistémicos), para mejorar la eficiencia de los mercados y para disminuir costes; también plantean ciertos problemas, como la creación de nuevos riesgos sistémicos, irrevocabilidad de errores en la contratación, incompatibilidad de registros y dificultades en la compensación de operaciones. Estos problemas surgen principalmente debido a lo revolucionarias y novedosas que son estas tecnologías. Una profundización en el estudio e investigación de las mismas permitirá aportar soluciones que resuelvan los problemas que plantean.
2. Tras analizar los derivados de criptomonedas, tanto de una forma teórica como empírica, se observa que la gran flexibilidad y variedad de los mismos pueden generar novedosas maneras de cubrir posiciones y de especular.
3. El uso de *Smart contracts* para la realización de contratos de derivados financieros posibilita: disminuir la confianza necesaria entre las partes para la realización del mismo, mejorar la eficiencia y reducir los costes. Esto permitirá facilitar la contratación de derivados, aumentando la difusión de los mismos, en cuanto se solucionen las limitaciones de especificación de los *Smart contracts* y se regulen adecuadamente.
4. La Inteligencia Artificial está tomando un creciente protagonismo en los mercados financieros en general, y a la hora de operar con derivados en particular, desplazando en cada vez más ocasiones a los operadores humanos. La evolución previsible de esta tecnología, donde se están realizando cuantiosas inversiones en su desarrollo e investigación, puede provocar la práctica sustitución de los seres humanos en los mercados financieros, ya que las IA podrán generar más beneficios y operar de una forma mucho más eficiente que aquellos. Esta posibilidad se incrementa en los mercados con los derivados más novedosos, puesto que las IA serán capaces de aprender la valoración y operativa con los mismos mejor, más rápido y más eficientemente que los seres humanos.

Actualmente ya se está viendo esta sustitución por parte de las IA en el ámbito del cumplimiento normativo.

5. Como reflexión final, es preciso destacar que al igual que los derivados en su momento modificaron radicalmente el mundo de las finanzas, las tecnologías estudiadas en este trabajo seguirán revolucionando la forma en la todos los participantes de los mercados operan con los derivados financieros.



## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Akyildirim, E., Corbet, S., Katsiampa, P., Kellard, N., & Sensoy, A. (2019). *The development of bitcoin futures: Exploring the interactions between cryptocurrency derivatives* doi:<https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.07.007>
- Avgouleas, E., & Kiayias, A. (2019). The promise of blockchain technology for global securities and derivatives markets: The new financial ecosystem and the 'Holy grail' of systemic risk containment. *European Business Organization Law Review*, 20(1), 81-110. doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s40804-019-00133-3>
- Aziz. (2018). Guide to crypto derivatives: What is cryptocurrency derivatives? Retrieved from <https://masterthecrypto.com/what-is-cryptocurrency-derivatives-guide-crypto-derivatives/>
- Bennell, J., & Sutcliffe, C. (2004). Black–Scholes versus artificial neural networks in pricing FTSE 100 options. *Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management*, 12(4), 243-260. doi:10.1002/isaf.254
- Berk, J. B., & DeMarzo, P. M. (2017). *Corporate finance* (4th Edition Global Edition ed.) Pearson Education.
- Binance. (2020a). Binance. Retrieved from <https://www.binance.com>
- Binance. (2020b). What are perpetual futures contracts? Retrieved from <https://www.binance.vision/economics/what-are-perpetual-futures-contracts>
- Bitcoin. (2020). Bitcoin. Retrieved from <https://bitcoin.org/es/>
- BitMEX. (2019). Perpetual contracts guide . Retrieved from <https://www.bitmex.com/app/perpetualContractsGuide>
- Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2014). Investments, 10th global edition. *Berkshire: Mc Graw-Hill*,
- Chen, J. (2019a). Derivative. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/d/derivative.asp>
- Chen, J. (2019b). Risk-free rate of return. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/r/risk-free-rate.asp>
- Chen, J. (2019c). Short sale . Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/s/shortsale.asp>
- CME Group. (2019). FAQ: CME bitcoin futures. Retrieved from <https://www.cmegroup.com/content/cmegroup/en/education/bitcoin/cme-bitcoin-futures-frequently-asked-questions.html>
- CME Group. (2020). Bitcoin futures contract specs - CME group. Retrieved from [https://www.cmegroup.com/content/cmegroup/en/trading/equity-index/us-index/bitcoin\\_contract\\_specifications.html](https://www.cmegroup.com/content/cmegroup/en/trading/equity-index/us-index/bitcoin_contract_specifications.html)
- CoinFlex. (2019). Trap of the funding rates: Perpetual swaps v.s. futures. Retrieved from <https://medium.com/coinflex-official/trap-of-the-funding-rates-perpetual-swaps-v-s-futures-d828df62c576>
- CoinMarketCap. (2020). Cryptocurrency market capitalizations. Retrieved from <https://coinmarketcap.com/>
- Collomb, A., & Sok, K. (2016). Blockchain/distributed ledger technology (DLT): What impact on the financial sector? *DigiWorld Economic Journal Communications & Strategies*, 103, 93. Retrieved from <https://search.proquest.com/central/docview/1841718518/fulltext/FB27F960EA524CB4P/Q/1?accountid=14514>
- Discussion paper  
the distributed ledger technology applied to securities markets, Documento

- Consultivo U.S.C. (2016). Retrieved from [https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/2016-773\\_dp\\_dlt.pdf](https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/library/2016-773_dp_dlt.pdf)
- Ethereum. (2020). Ethereum. Retrieved from <https://ethereum.org>
- Frankenfield, J. (2019a). Cryptocurrency. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/c/cryptocurrency.asp>
- Frankenfield, J. (2019b). Smart contracts . Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/s/smart-contracts.asp>
- Fraser Voigt, E., Strongin Dodds, L. & Pierron, A. (2017). AI and derivatives - what you need to know. Retrieved from <https://derivsource.com/podcast/ai-derivatives-need-know/>
- FSB. (2017). *Artificial intelligence and machine learning in financial services. market developments and financial stability implications*. (). Suiza: Retrieved from <https://www.fsb.org/2017/11/artificial-intelligence-and-machine-learning-in-financial-service/>
- García, J. M. (2019, 7 Aug.). AlphaZero: La inteligencia artificial con intuición humana. *La Vanguardia* Retrieved from <https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20190807/463277991361/alphazero-inteligencia-artificial.html>
- Hull, J. C. (2009). *Introducción a los mercados de futuros y opciones* (6a. ed. ed.). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.
- International Financial Law Review. (2016). Blockchain's three capital markets innovations explained. *International Financial Law Review*, Retrieved from <https://search.proquest.com/central/docview/1804780952/6A641C8B12B44631PQ/1?accountid=14514#>
- Jakhar, D., & Kaur, I. (2020). Artificial intelligence, machine learning and deep learning: Definitions and differences. *Clinical and Experimental Dermatology*, 45(1), 131-132. doi:10.1111/ced.14029
- Janey, C. (2019). Bitcoin derivatives: Futures, options, perpetuals swaps [2020]. Retrieved from <https://medium.com/@collete.janey/bitcoin-derivatives-futures-options-perpetuals-swaps-2020-8b0a007fd2cf>
- Kagan, J. (2019). Financial technology – fintech. Retrieved from <https://www.investopedia.com/terms/f/fintech.asp>
- Kenton, W. (2018). Binomial tree . Retrieved from [https://www.investopedia.com/terms/b/binomial\\_tree.asp](https://www.investopedia.com/terms/b/binomial_tree.asp)
- Lielacher, A. (2019). Bitcoin derivatives explained: A guide to trading crypto derivatives in 2020. Retrieved from <https://www.bitcoinmarketjournal.com/crypto-derivatives/>
- Luu, L., Chu, D., Olickel, H., Saxena, P., & Hobor, A. Making smart contracts smarter. Paper presented at the 254-269. doi:10.1145/2976749.2978309 Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2978309>
- Marín Bellón, F. (2019, 13 Jun.). AlphaZero: Una inteligencia artificial más humana que los humanos. *Abc* Retrieved from [https://www.abc.es/cultura/cultural/abci-alphazero-inteligencia-artificial-mas-humana-humanos-201906130206\\_noticia.html](https://www.abc.es/cultura/cultural/abci-alphazero-inteligencia-artificial-mas-humana-humanos-201906130206_noticia.html)
- Morini, M. (2016). *From 'blockchain hype' to a real business case for financial markets*. (). doi:10.2139/ssrn.2760184 Retrieved from <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2760184>
- Pastor, O. (2018). ¿Qué es una posición corta y larga? Retrieved from <https://www.rankia.cl/blog/analisis-ipsa/3971245-que-posicion-corta-larga>
- RNR, R. (2018). Bitmex perpetual swap. Retrieved from <https://medium.com/@romanornr/bitmex-perpetual-swap-2d125a304dd>
- Sam. (2019). Perpetual futures contracts explained. Retrieved from <https://www.bitdeal.net/perpetual-futures-contracts>
- Sherif, N. (2019). JP morgan turns to machine learning for options hedging. Retrieved from <https://www.risk.net/derivatives/6691696/jp-morgan-turns-to-machine-learning-for-options-hedging>

- Simpson, M. (2018). What is a perpetual swap? | taking a look at the new OKEX launch. Retrieved from <https://coincentral.com/what-is-a-perpetual-swap-taking-a-look-at-the-new-okex-launch/>
- Suñé Llinás, E., & Rodríguez Caramelo, L. M. (2019). Evolución y revolución en la documentación electrónica: El registro distribuido o DLT y la blockchain.
- Surujnath, R. (2017). Off the chain: A guide to blockchain derivatives markets and the implications on systemic risk notes. *Fordham Journal of Corporate and Financial Law*, 22(2), 257-[ii]. Retrieved from [https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/fjcf22&div=12&g\\_sent=1&casa\\_token=&collection=journals#](https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/fjcf22&div=12&g_sent=1&casa_token=&collection=journals#)
- U.S. Department of the Treasury. (2020). Daily treasury yield curve rates. Retrieved from <https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>
- Xena Exchange. (2019). What are perpetual contracts? . Retrieved from <https://xena.exchange/blog/what-are-perpetual-contracts/>

## X. ANEXO

### Ejemplos de Valoración y Operativa con Derivados de Criptomonedas

Para mejorar la comprensión acerca de cómo funcionan los derivados de criptomonedas más relevantes, en este capítulo se realizarán tres simulaciones diferentes. En concreto, estas simulaciones comprenderán la realización de:

- **Una operación de contratos de futuros del Bitcoin**, donde se mostrarán los beneficios que pueden obtener cada una de las partes y se expondrá una tabla de Ajuste al Mercado (MTM o *Marking to Market*).
- **Una operación de contratos perpetuos del Bitcoin**, donde se analizan los beneficios obtenidos por cada una de las partes, incidiendo en la diferencia entre el obtenido por el Importe de Financiación y el obtenido por el cierre del contrato.
- **Una valoración de una opción de compra sobre el Bitcoin, así como una operación con la misma**. La valoración de la opción se realizará por el método de valoración neutral al riesgo, y tras esto se mostrará un ejemplo de operación con dicha opción.

Para una correcta comprensión, se realizará una descripción de ciertas siglas:

- $T_0$ : Fecha de realización del contrato, momento de origen.
- $T_1$ : Fecha de vencimiento del contrato, fecha de entrega.
- BTC: Bitcoin

#### 1. Operación de contratos de futuros del Bitcoin

Un **contrato de futuros del Bitcoin**, es un acuerdo para **comprar o vender un número determinado de Bitcoins** (normalmente uno) en una **fecha específica** (la fecha de entrega) en el futuro a un **precio determinado** (normalmente en dólares).

Para la operación de ejemplo se han supuesto los siguientes valores y especificaciones del contrato:

- Tamaño del contrato: 5 BTC
- Número de contratos: 5
- Fecha de vencimiento: 1 semana desde T0
- Precio inicial de futuros de 1 BTC ( $F_0$ ): \$ 7.700 por cada BTC
- Precio spot de 1 BTC en la fecha de entrega ( $P_T$ ): \$ 8.150 por cada BTC
- Comisión por contrato: \$ 1,25
- Margen inicial (MI): 10%
- Margen de mantenimiento (MM): 5%

En este ejemplo, como el precio de spot en la fecha de entrega es mayor que el precio inicial de futuros, la parte con la posición larga obtendrá beneficios ya que comprará Bitcoins en la fecha de entrega al precio  $F_0$  y los venderá al precio spot de la fecha de vencimiento, o sea  $P_T$ . Para la parte con la posición corta supone una pérdida, ya que se encuentra en la situación inversa, tendrá que vender Bitcoins al precio  $F_0$  y deberá comprarlos al precio  $P_T$ .

Aun así, en el *exchange* que se ha usado de referencia para el ejemplo se le entrega a cada una de las partes la diferencia entre  $P_T$  y  $F_0$  directamente en dólares (CME Group, 2020).

Para el cálculo del **beneficio de la parte con la posición larga** he realizado la siguiente operación:

$$\begin{aligned} \text{Resultado}_{\text{posición larga}} &= \text{Tamaño del contrato} * \text{Número de contratos} * \\ & (P_T - F_0) - \text{Comisión por contrato} * \text{Número de contratos} = 5 \text{ BTC} * 5 * \\ & (8.150 \$/\text{BTC} - 7.700 \$/\text{BTC}) - \$ 1,25 * 5 = \$ \mathbf{11.243,75} \end{aligned}$$

Para el cálculo de la **pérdida de la parte con la posición corta**:

$$\begin{aligned} \text{Resultado}_{\text{posición corta}} &= \text{Tamaño del contrato} * \text{Número de contratos} * \\ (F_0 - P_T) - \text{Comisión por contrato} * \text{Número de contratos} &= 5 \text{ BTC} * 5 * \\ (7.700 \$/\text{BTC} - 8.150 \$/\text{BTC}) - \$ 1,25 * 5 &= \$ - 11.256,25 \end{aligned}$$

La tabla de **Ajuste al Mercado (MTM)**, donde se muestran las liquidaciones diarias de esta operación es la siguiente:

**Figura 2.** Tabla de Ajuste al Mercado.

Fecha	Precio / MTM	Variación	Vendedor		Flujo de caja	Comprador		MM
			Pago	Balance		Pago	Balance	
06/01/2020	\$ 7.700,00	\$ -	\$ 770,00	\$ 770,00		\$ 770,00	\$ 770,00	\$ 385,00
07/01/2020	\$ 7.900,00	\$ 200,00		\$ 570,00	--> 200,00		\$ 970,00	\$ 385,00
08/01/2020	\$ 8.400,00	\$ 500,00		\$ 70,00	--> 500,00		\$ 1.470,00	\$ 385,00
09/01/2020	\$ 8.000,00	\$ -400,00	\$ 315,00	\$ 785,00	<-- 400,00		\$ 1.070,00	\$ 385,00
10/01/2020	\$ 7.800,00	\$ -200,00		\$ 985,00	<-- 200,00		\$ 870,00	\$ 385,00
11/01/2020	\$ 8.080,00	\$ 280,00		\$ 705,00	--> 280,00		\$ 1.150,00	\$ 385,00
12/01/2020	\$ 8.150,00	\$ 70,00		\$ 635,00	--> 70,00		\$ 1.220,00	\$ 385,00
			\$ 635,00			\$ 1.220,00		
<b>12/01/2020</b>		<b>\$ 450,00</b>	<b>\$ -450,00</b>			<b>\$ 450,00</b>		

**Fuente:** El autor del trabajo.

Se destaca lo siguiente:

- El margen inicial para ambos es el 10% de  $F_0$ , es decir, \$ 770.
- El margen de mantenimiento para ambos es el 5% de  $F_0$ , es decir, \$ 385. La cantidad de dólares en el balance se ha de conservar en todo momento por encima de esta cantidad, es por ello que el 08/01/2020 el vendedor (la posición corta), recibió un *margin call*, dado que su balance se encontraba por debajo de su margen de mantenimiento. El vendedor tuvo que aportar fondos (que por lo menos cubriesen el margen de mantenimiento) para evitar que se le cerrase la posición automáticamente.

## 2. Operación de contratos perpetuos del Bitcoin

Un **contrato perpetuo del Bitcoin** es un derivado financiero similar al contrato de futuros, pero con dos características diferenciadoras: **no tiene fecha de expiración o entrega**, y el **precio** del contrato perpetuo se basa en un **Precio Índice subyacente**, el cual consiste en el precio spot promedio del Bitcoin.

Gracias a los **Importes de Financiación** (IF) se consigue fijar el precio del contrato perpetuo al precio spot. El IF se obtiene al multiplicar el valor de la posición por la **Tasa de Financiación** (TF). Por simplicidad, en el ejemplo presentado a continuación la TF es constante y no se realiza el cálculo de su valor, se ofrece su valor directamente.

Para la operación de ejemplo se han supuesto los siguientes valores y especificaciones del contrato:

- Valor del contrato: \$ 1,00
- Número de contratos: 10.000
- Fecha de vencimiento: Infinita
- Precio Índice de 1 BTC en  $T_0$  ( $PI_0$ ): \$ 8.100,00 por cada BTC
- Precio inicial de futuros de 1 BTC ( $F_0$ ): \$ 8.100,00 por cada BTC; en este tipo de contratos el  $F_0$  es igual al  $PI_0$ .
- Precio Índice de 1 BTC en  $T_1$  ( $PI_1$ ): \$ 8.300,00 por cada BTC
- Tasa de Financiación (TF): 0,01%
- Intervalo de Financiación: 8 horas, indica la frecuencia con la que debe pagarse el Importe de Financiación.
- Horas entre  $T_0$  y  $T_1$ : 22 horas
- Número de IF a pagar entre  $T_0$  y  $T_1$ : 3

La TF en este caso es positiva ya que se ha producido un incremento de valor del BTC desde  $T_0$  a  $T_1$ . Debido a esto el comprador (posición larga) pagará al vendedor (posición corta) el Importe de Financiación.

El cálculo de la posición en Bitcoins se realizará hallando el valor de la posición en dólares y luego dividiendo ese valor por el  $PI_0$ :

*Valor de la posición en \$ = Valor del contrato \* Número de contratos*

$$= \$ 1 * 10.000 = \$ 10.000,00$$

$$\text{Valor de la posición en BTC} = \frac{\text{Valor de la posición en \$}}{PI_0} = \frac{\$ 10.000,00}{8.100,00 \$/BTC}$$

$$= \mathbf{1,23457 BTC}$$

El Importe de Financiación que **debe pagar el comprador** al vendedor es el siguiente:

$$IF_{comprador} = \text{Valor de la posición en BTC} * TF$$

$$* \text{Número de IF a pagar entre } T_0 \text{ y } T_1 = 1,23457 BTC * 0,01\% * 3$$

$$= \mathbf{0,00037 BTC a pagar}$$

El Importe de Financiación que **recibirá el vendedor** del **comprador** es el siguiente:

$$IF_{vendedor} = \text{Valor de la posición en BTC} * TF$$

$$* \text{Número de IF a pagar entre } T_0 \text{ y } T_1 = 1,23457 BTC * 0,01\% * 3$$

$$= \mathbf{0,00037 BTC a recibir}$$

Por lo tanto, los **beneficios obtenidos por el comprador** son:

$$\text{Resultado}_{\text{posición larga}} = \text{Valor de la posición en \$} * \left( \frac{1}{PI_0} - \frac{1}{PI_1} \right) - IF_{comprador} =$$

$$\$ 10.000 * \left( \frac{1}{8.100,00 \$/BTC} - \frac{1}{8.300,00 \$/BTC} \right) - 0,00037 BTC = \mathbf{0,02938 BTC}$$

$$\text{Los } 0,02938 \text{ BTC son equivalentes a: } 0,02938 BTC * 8.300,00 \$/BTC = \$ \mathbf{243,84}$$



Y las **pérdidas del vendedor** son:

$$\text{Resultado}_{\text{posición corta}} = \text{Valor de la posición en \$} * \left( \frac{1}{PI_1} - \frac{1}{PI_0} \right) - IF_{\text{vendedor}} =$$
$$\$ 10.000 * \left( \frac{1}{8.300,00\$/BTC} - \frac{1}{8.100,00\$/BTC} \right) + 0,00037 BTC = -0,02938 BTC$$

Los -0,02938 BTC son equivalentes a:  $-0,02938 BTC * 8.300,00\$/BTC = \$ - 243,84$

### 3. Valoración de una opción sobre el Bitcoin y operación con la misma

Una **opción del Bitcoin** es un derivado financiero mediante el cual se establece un contrato que da a su **comprador** (tenedor) el **derecho**, pero no la obligación, de **comprar o vender** (en función de si es una opción de compra o de venta, respectivamente) un **número determinado de Bitcoins** a un **precio fijo** (el precio *strike*) en una **fecha futura específica** (fecha de vencimiento).

En el ejemplo que se explicará a continuación se ha calculado el **precio de una opción de compra** (opción *call*) **del Bitcoin** mediante el **método de valoración neutral al riesgo**. Este método de valoración se basa en lo siguiente (Berk & DeMarzo, 2017; Hull, 2009):

- Para el cálculo del precio de una opción si supiésemos las **probabilidades** de que el **precio** del activo subyacente **suba**, podríamos calcular el **rendimiento esperado** de la opción y **descontarlo** al coste del capital de la opción. De esta forma obtendríamos el precio (valor) de la opción. Sin embargo, es difícil saber cuál es el coste del capital de un activo, y las opciones no son una excepción.
- Pero si suponemos que todos los actores del mercado son **neutrales al riesgo**, entonces les daría igual verse recompensados por el riesgo que toman, por lo que todos los **activos financieros** (incluyendo las opciones sobre el Bitcoin) tendrían el **mismo rendimiento esperado**, que sería la **tasa de interés libre de riesgo**.

- Si sabemos cuánto sube y baja un activo en cada periodo del árbol binomial<sup>10</sup> podemos despejar la **probabilidad ( $p$ )** de que el activo suba o baje, mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{p * S_u + (1 - p) * S_d}{S} - 1 = r_f$$

Si despejamos  $p$  obtenemos:

$$p = \frac{(1 + r_f) * S - S_d}{S_u - S_d}$$

Donde:

- $p$ : probabilidad de que el precio del activo suba (por ende  $(1-p)$  es la probabilidad de que el precio del activo baje). Esta probabilidad no cambia para cada rama del árbol binomial, se mantiene constante.
- $S$ : precio del activo. En ejemplo presentado a continuación  $S$  indica el precio del activo en el momento inicial.
- $S_u$ : precio del activo en el momento siguiente a  $S$ , en el caso de que el precio del mismo se incremente.
- $S_d$ : precio del activo en el momento siguiente a  $S$ , en el caso de que el precio del mismo disminuya.
- $r_f$ : tasa de interés libre de riesgo del periodo.

Una vez tenemos  $p$ , debemos hallar el precio de la opción en cada rama del árbol binomial, empezando por el último periodo, donde cada rama del árbol binomial representará cada uno de los casos finales posibles y observaremos las diferentes utilidades que reportará la opción en cada uno esos casos. Tras esto iremos calculando hacia atrás en el árbol hasta llegar al momento inicial, que nos dirá el precio de la opción a día de hoy, gracias a la siguiente fórmula:

$$C = \frac{C_u * p + C_d * (1 - p)}{1 + r_f}$$

---

<sup>10</sup> Un árbol binomial es una representación gráfica de los posibles valores intrínsecos que una opción puede tener en diferentes periodos de tiempo. (Berk & DeMarzo, 2017; Kenton, 2018)

Donde:

- $C$ : precio o valor de la opción. Normalmente la  $C$  representa opciones de compra, pero en esta fórmula vale tanto para opciones de compra como de venta.
- $C_u$ : es el precio o valor de la opción en la rama superior (es decir si el activo subyacente sube de precio) del momento siguiente a  $C$ .
- $C_d$ : es el precio o valor de la opción en la rama inferior (es decir si el activo subyacente baja de precio) del momento siguiente a  $C$ .

Tras haber explicado todo esto, ahora se expondrá un ejemplo concreto, donde primero se hallará el **precio de una opción de compra de un Bitcoin** y luego se realizará una **operación** con la misma. Para esta operación se han supuesto los siguientes valores y especificaciones del contrato:

- Tamaño del contrato: 1 opción de compra europea de un Bitcoin.
- Número de pasos del árbol binomial: 7, uno por cada día de la semana puesto que normalmente las opciones del Bitcoin, tienen una periodicidad semanal. Suponemos que se realiza la compra de la opción el primer día de la semana.
- Precio del Bitcoin en  $T_0$  ( $S$ ): \$ 8.900,00 por cada BTC
- Coeficiente de subida en el árbol binomial ( $u$ ): 1,04
- Coeficiente de bajada en el árbol binomial ( $d$ ): 0,98
- Precio del ejercicio o precio strike ( $K$ ): \$ 8.500,00 por cada BTC
- Tasa de interés libre de riesgo anual ( $r_{f\text{ anual}}$ ): 1,54%, se obtiene de la tasa de interés que ofrece un bono del Tesoro americano a 3 meses (Chen, 2019b; U.S. Department of the Treasury, 2020).
- Tasa de interés libre de riesgo del periodo ( $r_f$ ): 0,0042%, se obtiene usando la fórmula del interés compuesto. Es la tasa de interés libre de riesgo diaria, puesto que cada periodo es de un día.

El árbol binomial del **precio de un Bitcoin en dólares** es el siguiente:

**Figura 3.** Árbol binomial del precio de un Bitcoin en dólares.

0	1	2	3	4	5	6	7
\$ 8.900,00	\$ 9.256,00	\$ 9.626,24	\$ 10.011,29	\$ 10.411,74	\$ 10.828,21	\$ 11.261,34	\$ 11.711,79
	\$ 8.722,00	\$ 9.070,88	\$ 9.433,72	\$ 9.811,06	\$ 10.203,51	\$ 10.611,65	\$ 11.036,11
		\$ 8.547,56	\$ 8.889,46	\$ 9.245,04	\$ 9.614,84	\$ 9.999,44	\$ 10.399,41
			\$ 8.376,61	\$ 8.711,67	\$ 9.060,14	\$ 9.422,55	\$ 9.799,45
				\$ 8.209,08	\$ 8.537,44	\$ 8.878,94	\$ 9.234,09
					\$ 8.044,90	\$ 8.366,69	\$ 8.701,36
						\$ 7.884,00	\$ 8.199,36
							\$ 7.726,32

**Fuente:** El autor del trabajo.

Usamos la fórmula para hallar  $p$ :

$$p = \frac{(1 + 0.0042\%) * \$ 8.900,00 - \$ 8.722,00}{\$ 9.256,00 - \$ 8.722,00} = 33,40\%$$

Una vez tenemos  $p$  ya podemos hallar el precio de la opción de compra, usando otro árbol binomial y la fórmula previamente descrita para hallar el **precio de la opción**:

**Figura 4.** Árbol binomial del precio de la opción de compra sobre el Bitcoin.

0	1	2	3	4	5	6	7
\$ 508,74	\$ 784,36	\$ 1.128,02	\$ 1.512,71	\$ 1.912,81	\$ 2.328,92	\$ 2.761,70	\$ 3.211,79
	\$ 370,53	\$ 612,04	\$ 935,14	\$ 1.312,13	\$ 1.704,22	\$ 2.112,00	\$ 2.536,11
		\$ 249,42	\$ 450,01	\$ 746,11	\$ 1.115,55	\$ 1.499,79	\$ 1.899,41
			\$ 148,82	\$ 301,53	\$ 560,85	\$ 922,90	\$ 1.299,45
				\$ 72,24	\$ 171,48	\$ 379,29	\$ 734,09
					\$ 22,47	\$ 67,26	\$ 201,36
						\$ -	\$ -
							\$ -

**Fuente:** El autor del trabajo.

Observamos que el **precio de la opción de compra (C)** es de **\$ 508,74**.

A continuación, se muestra el resultado de una **operación de compra de esta opción**.

Los valores son:

- $K$ : \$ 8.500,00 por cada BTC
- $S$ : \$ 8.900,00 por cada BTC
- $C$ : \$ 508,74

- $C$  en BTC ( $C_{BTC}$ ):  $\frac{C \text{ en } \$}{S} = \frac{\$ 508,74}{8.900,00 \$/BTC} = 0,05716 \text{ BTC}$
- Valor de 1 BTC en  $T_7$  ( $S_7$ ):  $\$ 11.036,11$  por cada BTC

Primero, se calcula el *payoff* (utilidad) de la opción:

$$\text{payoff} = \max(S_7 - K; 0) = \max(\$ 11.036,11 - \$ 8.500,00; 0) = \$ 2.536,11$$

Hacemos una regla de 3: Si  $\$ 11.036,11$  es igual a 1 BTC,  $\$ 2.536,11$  es igual a *payoff* en BTC:

$$\text{payoff en BTC} = \frac{\$ 2.536,11}{\$ 11.036,11} * \text{BTC} = 0,22980 \text{ BTC}$$

Luego se obtiene el beneficio de la operación para el comprador, restándole al *payoff* en Bitcoins el coste de la opción en Bitcoins (dado que se compra un Bitcoin, no su valor en dólares), y tras esto se pasa el valor a dólares:

$$\begin{aligned} \text{Resultado}_{\text{posición larga en BTC}} &= \text{payoff en BTC} - C_{BTC} \\ &= 0,22980 \text{ BTC} - 0,05716 \text{ BTC} = 0,17264 \text{ BTC} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Resultado}_{\text{posición larga en \$}} &= \text{Resultado}_{\text{posición larga en BTC}} * S_7 \\ &= 0,17264 \text{ BTC} * 11.036,11 \$/BTC = \$ 1.905,27 \end{aligned}$$

Es decir, el **beneficio** para el comprador de esta opción de compra de un Bitcoin es de **0,17264 BTC** o **\$ 1.905,27**.